

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE CURA EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Ramon Possamai Silva (1), Bruno do Vale Silva (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)ramonpossa@hotmail.com, (2)dovalesilva@unesc.net

RESUMO

A cura é um conjunto de medidas essenciais que garantem o pleno desempenho dos elementos estruturais do concreto armado. Uma cura deficiente, influência na perda de capacidade de carga, na resistência superficial do concreto, na abertura de fissuras e deformações dos elementos estruturais. O objetivo deste trabalho é verificar, o comportamento, entre vigas de concreto armado, submetidas a três diferentes procedimentos de cura. Para a realização desta verificação, foram moldados três grupos de três vigas sendo que o primeiro grupo, não teve procedimento de cura, o segundo foi realizado cura com aspersão de água e vedação e o terceiro aspersão de agente químico. Para cada elemento foi realizado ensaio de flexão à quatro pontos e esclerometria. Nos resultados observou-se uma diferença em média de 4% no comportamento entre grupo com cura negligenciada em relação aos dois grupos curados.

Palavras-Chave: Cura. Concreto armado. Viga.

1 INTRODUÇÃO

Brunauer & Copeland (1964 apud Mehta & Monteiro, 2008, p.3) afirma que o concreto é o material da construção civil mais utilizados no mundo, comumente composto da mistura de cimento, areia, brita e água.

Segundo Metha & Monteiro

Há ao menos três razões principais para o concreto ser utilizado: excelente resistência do concreto a água (usado em barragens, revestimento de canais, estacas, fundações, lajes, vigas, etc.); fácil manuseio, sendo adequado a uma variedade de formas e tamanhos; baixo custo e fácil disponibilidade do material para obras.

De acordo com Pfeil (1984, p.92), “o concreto armado é constituído por dois materiais – concreto e barras de aço – de naturezas muito diferentes, porém com algumas propriedades complementares”.



A cura do concreto constitui uma medida fundamental para evitar a evaporação da água que foi utilizada na sua fabricação, assim assegurando a hidratação dos compostos presentes na pasta de cimento, responsáveis pelo ganho de resistência mecânica do concreto, reduzir ao máximo sua retração e garantir vida útil além do favorecimento no desenvolvimento da resistência ao longo do tempo.

Para Petrucci (1998, p.185), “cura é o conjunto de medida que tem a finalidade de evitar a perda prematura de água necessária para a hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento”.

Os procedimentos de cura realizados em obras, na sua maioria são feitos de forma inadequada, mas mesmo assim ainda trazendo benefícios ao concreto em contrapartida da não realização da cura.

Os métodos de cura adequados possuem uma ligação direta com os ganhos de resistência nos elementos estruturais do concreto. Conforme especificado na NBR 19431 (2004), elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), igual ou maior que 15 MPa.

Alguns métodos utilizados para cura do concreto são a cura ao ar do concreto, onde não são tomados cuidados especiais para se evitar a evaporação prematura da água necessária para hidratação do cimento, causando uma maior retração e perda de resistência; bem como a cura úmida, onde se deve manter a superfície do concreto úmida por meio de aplicação de água na superfície, manter o concreto úmido ou totalmente imerso em água para evitar que ocorra evaporação da mesma. No caso da cura úmida, podemos utilizar folhas de papelão, lonas plásticas ou até mesmo somente molhar o concreto o tempo todo; já a cura química, consiste num produto que forma uma película na superfície do concreto e que impede que haja evaporação da água do concreto.

A influência negativa da não realização da cura pode ser notada devido ao aumento da taxa de armadura, pois com esse aumento da taxa de armadura no domínio 3, os elementos romperam sem que houvesse o escoamento do aço, permitindo uma melhor análise (RABAIOLLI, 2012).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo verificar a influência dos tipos de cura na resistência à flexão de vigas de concreto, como também a resistência à compressão em corpos de prova e dureza superficial do concreto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando analisar a influência dos diferentes tipos de cura no desempenho de vigas de concreto, foram confeccionados nove elementos com seção transversal de (12x20 cm) e comprimento de 160 cm. Todos dimensionados no domínio 3 ($x/d = 0,4592$), conforme NBR 6118 (2014).

A armadura utilizada na confecção dos elementos dos elementos foi aço CA 50 e as vigas moldadas in loco com concreto usinado C20, conforme Tabela 1, abatimento de (100 ± 20) mm e relação água/cimento (a/c) de 0,6. Afim de verificar essas características, foram moldados 9 corpos de prova cilíndricos, de dimensões (10x20 cm) conforme especificado na NBR 5738 (2003), e ensaiados aos vinte oito dias na prensa de marca EMIC, modelo PC2000I e capacidade de 2000 kN, localizada no LMCC – Laboratório Materiais de Construção Civil da UNESC, respeitando o estabelecido pela NBR 5739 (2007). Foram formados três grupos de vigas com três unidades por grupo, que ficaram expostos às seguintes condições:

- Grupo 1 – sem realização de procedimento de cura;
- Grupo 2 – cura por aspersão de água e vedação com lona transparente;
- Grupo 3 – cura com aspersão de agente químico de cura.

Na Tabela 1 a seguir pode ser vista a composição do concreto:

Tabela 1- Composição concreto

Concreto				
Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Aditivo (kg/m ³)
280	728	798	168	0,42

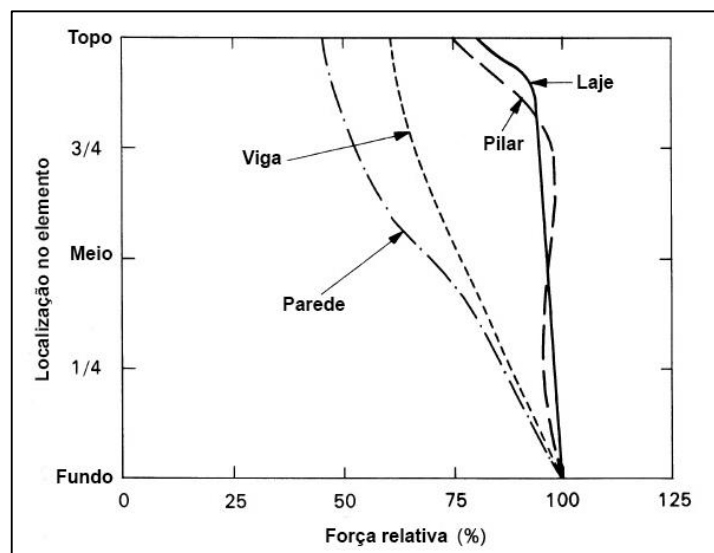
Fonte: Polimix

A cura dos grupos 2 e 3 foram iniciadas logo após o início de pega do concreto, aproximadamente duas horas e trinta minutos após ser adicionado água no amassamento do concreto. No grupo 3 a aspersão do produto químico foi feita até que toda a superfície da viga fosse coberta com o mesmo, deixando a superfície inteira branca. No grupo 1 as vigas foram simplesmente protegidas com lona transparente, para o caso da ocorrência de chuvas e suspensas do chão para evitar qualquer contato com água. Assim como as vigas os corpos de prova seguiram o mesmo padrão, sendo o grupo 1 apenas armazenado em local protegido da chuva, enquanto os grupos 2 e 3 foram feitos a sua cura, até a data prevista para o rompimento.

O agente químico usado neste ensaio, não é biodegradável pois é a base de parafina, sendo necessário remoção do mesmo após a cura.

Como complementação e parâmetro comparativo, são realizados ensaios de esclerometria nos corpos de prova e nas vigas. Neste ensaio pode haver variação de resistência ao longo da altura do elemento, como visto na Figura 1.

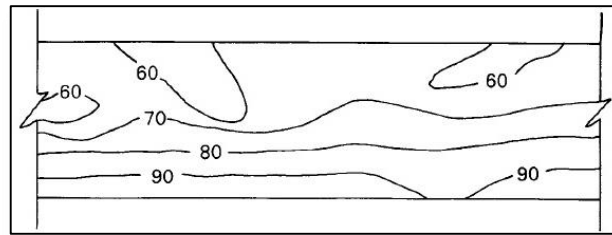
Figura 1 - Variações dentro do elemento.



Fonte: Bungey (2006).

Nas vigas, a variação da resistência pode ser apresentada conforme indica a Figura 2.

Figura 2–Percentual de variação da resistência em vigas - elemento.



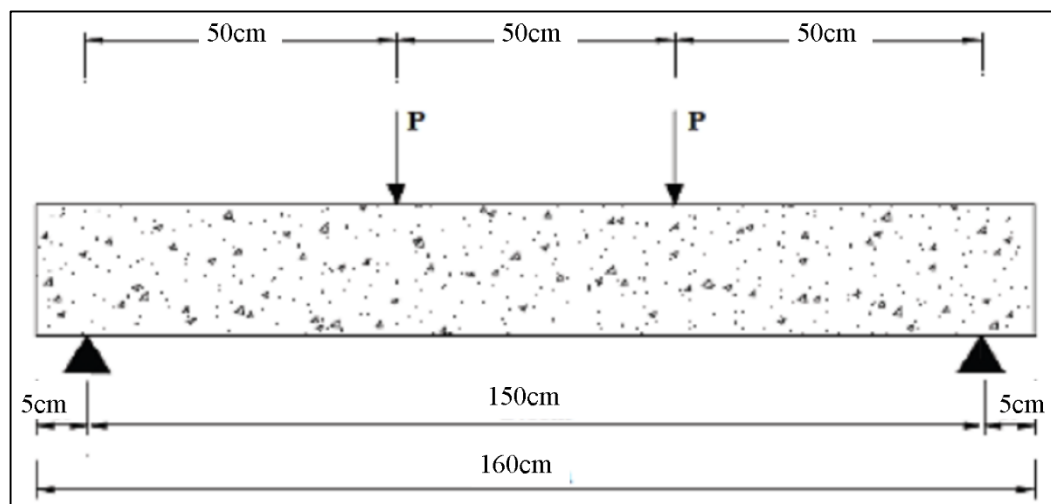
Fonte: Bungey (2006).

2.1 METODOLOGIA PARA O ENSAIO DE FLEXÃO

Com o objetivo de fornecer dados de carga aplicada x flecha, foram utilizados os seguintes equipamentos: Pórtico metálico sobre uma laje de reação, cilíndrico hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 kN, transdutor de deslocamento (LVDT) de 100 mm da marca HBM, além do equipamento para aquisição de dados QUANTUM X que utiliza o software Catman Easy, ambos também da marca HBM.

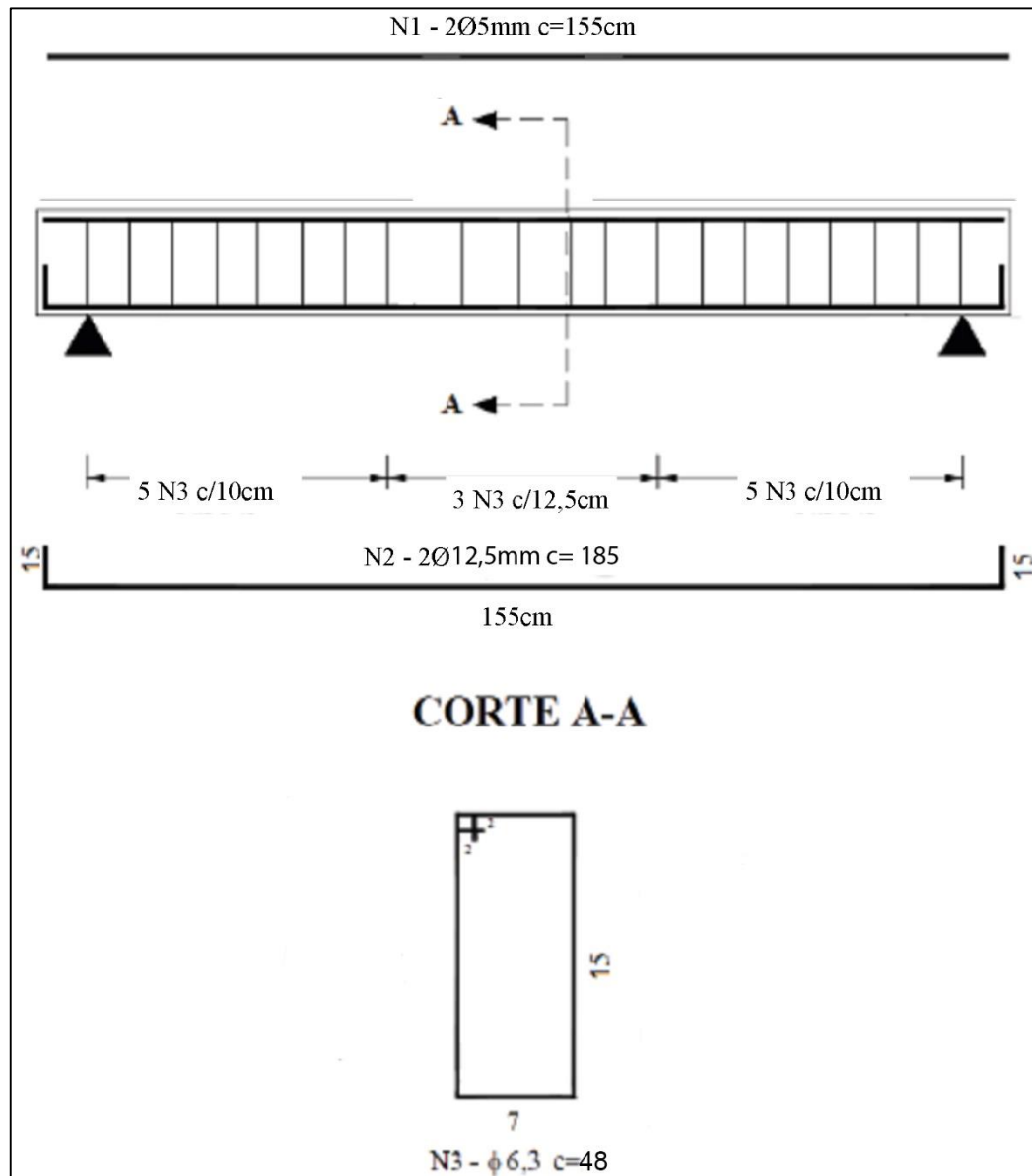
Todos os elementos foram ensaiados e posicionados individualmente de maneira bi apoiada e receberam carregamento em quatro pontos equidistantes. O carregamento foi aplicado através de um cilindro hidráulico, de cima para baixo, diretamente sobre um perfil metálico com rigidez apropriada a transferir para as vigas de concreto, duas cargas pontuais nos terços médio da viga. A Figura3 represente o esquema adotado para o ensaio.

Figura 3 - Modelo de aplicação de carga.



Fonte: Do Autor2014.

Figura 4 - Detalhamento da viga.



Fonte: Do Autor 2014.

No decorrer da aplicação da carga foi verificada a capacidade de carga na flecha máxima em ($l/250$) e na ruptura. As verificações de comportamento entre as vigas se deram nos seguintes tempos:

- Quando o valor da flecha atingiu o máximo permitido por norma ($l/250$) e;
- Na ruptura.

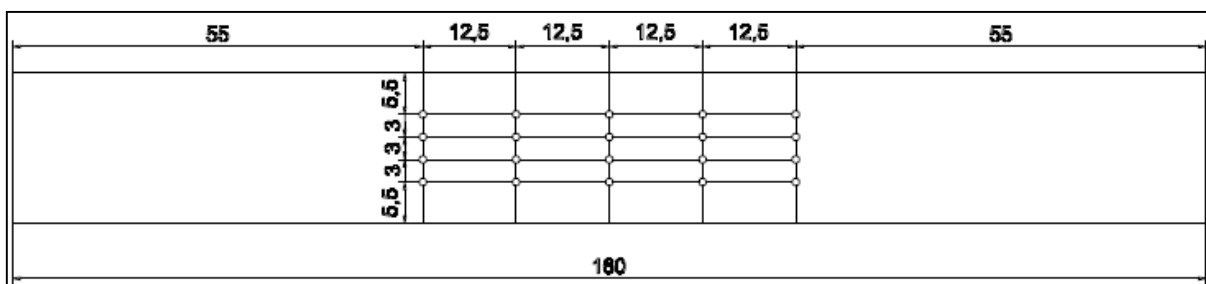
A flecha máxima permitida, calculada através da tabela 13.2 da NBR 6118 (2014), cujo valor para o limite máximo ($l/250$) é de 6,0mm.

2.2 METODOLOGIA PARA OS ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA

O ensaio de esclerometria será realizado conforme NBR 7584 (2012), sendo usado o esclerômetro do tipo Schmidt. A Figura 5 e 6, apresentam o modelo de grade para a viga e o corpo de prova respectivamente.

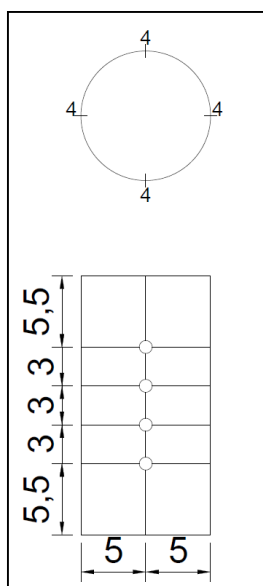
O ensaio esclerométrico nas vigas foi feito no terço médio e utilizando uma carga de 5 kN para ter um travamento da mesma e obter um melhor resultado. Os corpos de prova foram colocados na prensa, onde foi utilizado uma carga de 80 kN para obtenção de um melhor resultado do ensaio esclerométrico.

Figura 5 - Modelo grade esclerométrica viga.



Fonte: Do Autor 2014.

Figura 6 - Modelo grade esclerométrica corpo de prova.



Fonte: Do Autor 2014.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram que houve uma sensível influência dos procedimentos de cura quanto a capacidade de carga, flecha e esclerometria, conforme constatados abaixo.

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão axial foi realizada aos 28 dias e os resultados estão apresentados na Tabela 2:

- O grupo 1 apresentou resistência de 4,3% menor que o grupo 2 e 2,6% menor que o grupo 3.

Tabela 2 - Resistência à Compressão dos Corpos de Prova.

GRUPOS	fc (MPa)
G1A	18,0
G1B	18,2
G1C	19,8
MÉDIA	18,7
D.P.	1,0
G2A	20,5
G2B	19,7
G2C	18,3
MÉDIA	19,5
D.P.	1,1
G3A	20,1
G3B	18,6
G3C	18,6
MÉDIA	19,1
D.P.	0,9

3.2 INDICE ESCLEROMÉTRICO

Para a determinação da dureza superficial do concreto, foi realizado o ensaio de esclerometria, através do esclerômetro de deflexão. A Tabela 3 apresenta as médias

do índice esclerométrico de cada corpo de prova e vigas que foram realizados os ensaios, conforme cita a NBR 7584 (2012), os pontos que apresentaram variação superior a 10% foram excluídos da média final de cada elemento e novas médias foram calculadas.

Tabela 3 – Índice Esclerométrico

GRUPOS	CP (I.E)	Viga (I.E)	% diferença Cp/Viga
G1A	22,3	32,6	68,3%
G1B	24,4	29,7	82,2%
G1C	21,9	30,7	71,4%
MÉDIA	22,9	31,0	74,0%
D.P	1,4	1,5	0,1
G2A	20,4	28,3	71,9%
G2B	19,8	28,0	70,7%
G2C	19,4	28,9	67,1%
MÉDIA	19,8	28,4	69,9%
D.P	0,5	28,4	0,7
G3A	20,4	34,2	59,6%
G3B	20,9	33,8	62,0%
G3C	20,0	29,0	69,0%
MÉDIA	20,4	32,3	63,5%
D.P	0,5	2,9	0,0

Fonte: Do Autor 2015.

Observa-se na Tabela 2 que a relação entre índices esclerométricos obtidos nos corpos de prova e vigas ficou em 74,0%, 69,9% e 63,5% para o Grupo 1, 2 e 3, respectivamente. Essas relações estão de acordo com as observações de Bungey (2006).

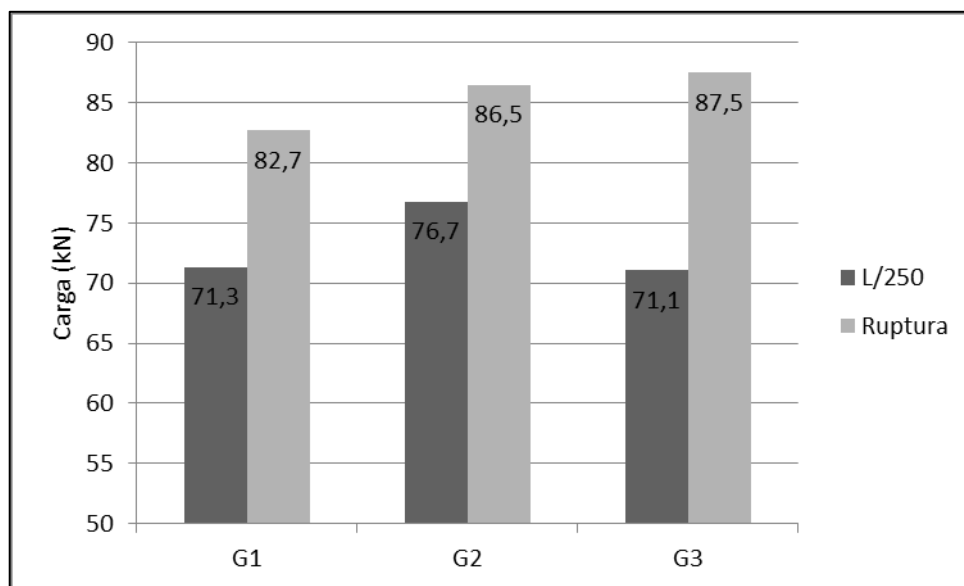
3.3 CARGAS EM L/250 E NA RUPTURA

O gráfico da Figura 7 mostra que independente da cura realizada os grupos superaram a capacidade de carga calculada para o estado limite último, houve uma perceptível influência no comportamento dos grupos.

- l/250 – O grupo 1 apresentou carga de 7,0% menor que o grupo 2 e 0,3% maior que o grupo 3.

- Ruptura – O grupo 1 apresentou carga de 4,4% menor que o grupo 2 e 5,7% menor que o grupo 3.

Figura 7–Gráfico cargas nas vigas.



Fonte: Do Autor 2015.

Levando em conta que a carga calculada para o estado limite último de 44,09 kN, o grupo 1, 2 e 3 apresentaram 46,7%, 49,0% e 49,6%, respectivamente, a mais na capacidade de carga portante.

3.4 FLECHA – DESLOCAMENTO VERTICAL

O deslocamento aqui analisado foi apenas na ruptura como pode ser visto nas Tabelas 4, 5 e 6.

- Ruptura - o grupo 1 apresentou flecha de 0,2% maior que o grupo 2 e 16,8% menor que o grupo 3.

Tabela 4 - Comportamento do grupo 1 com cargas na ruptura.

GRUPO	AMOSTRA	CARGA (kN) (RUPTURA)	FLECHA (mm) (RUPTURA)
G1	A	87,42	11,51
	B	78,57	8,74
	C	82,14	8,19
MÉDIA		82,71	9,48
D.P.		4,45	1,78

Fonte: Do Autor 2015.

Tabela 5 - Comportamento do grupo 2 com cargas na ruptura.

GRUPO	AMOSTRA	CARGA (kN) (RUPTURA)	FLECHA (mm) (RUPTURA)
G2	B	87,99	9,44
	C	84,93	9,49
MÉDIA		86,46	9,46
D.P.		2,16	0,04

Fonte: Do Autor 2015.

Tabela 6 - Comportamento do grupo 3 com cargas na ruptura.

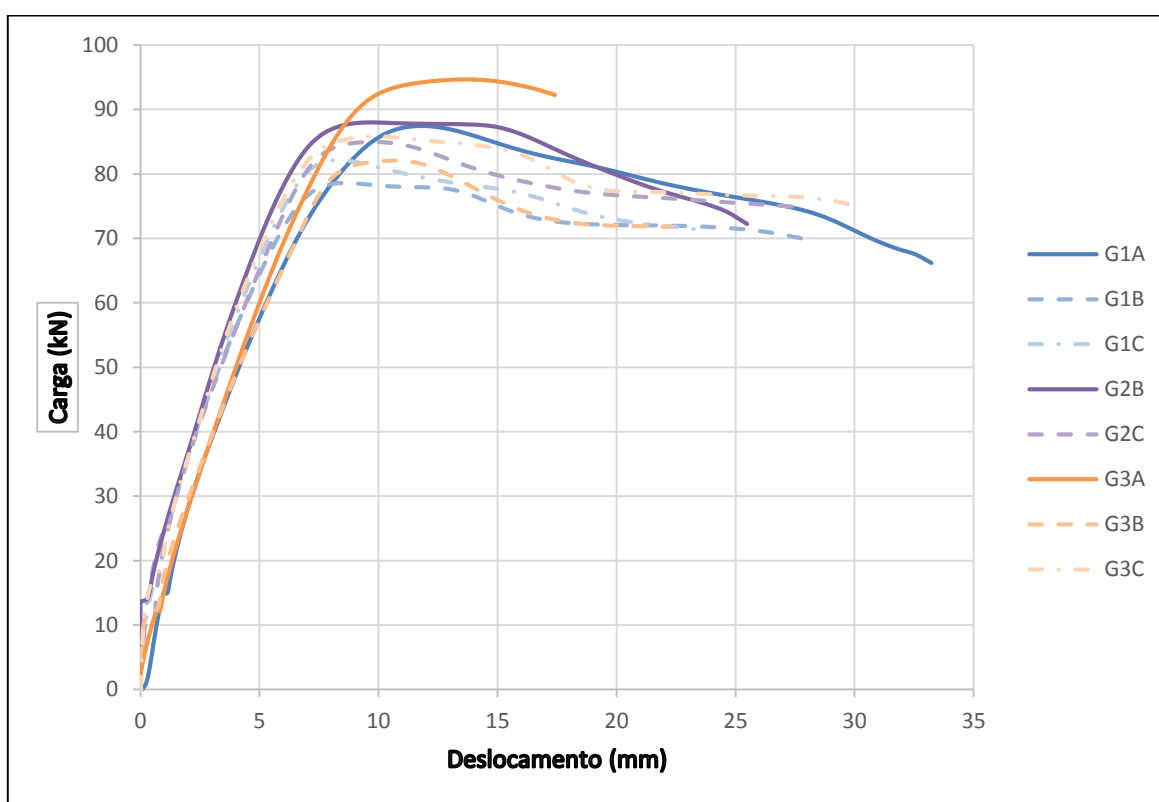
GRUPO	AMOSTRA	CARGA (kN) (RUPTURA)	FLECHA (mm) (RUPTURA)
G3	A	94,69	13,67
	B	82,05	10,48
	C	85,80	10,05
MÉDIA		87,51	11,40
D.P.		6,49	1,98

Fonte: Do Autor 2015.

3.5 RELAÇÃO ENTRE DESLOCAMENTOS E CARREGAMENTOS

O gráfico da Figura 9 apresenta o comportamento de carga por deslocamento vertical (flecha) no vão médio de cada viga ensaio à flexão. Observa-se que todas as vigas apresentaram comportamento similares entre si, com ruptura por compressão do concreto na face superior.

Figura 8 – Gráfico carga x deslocamento



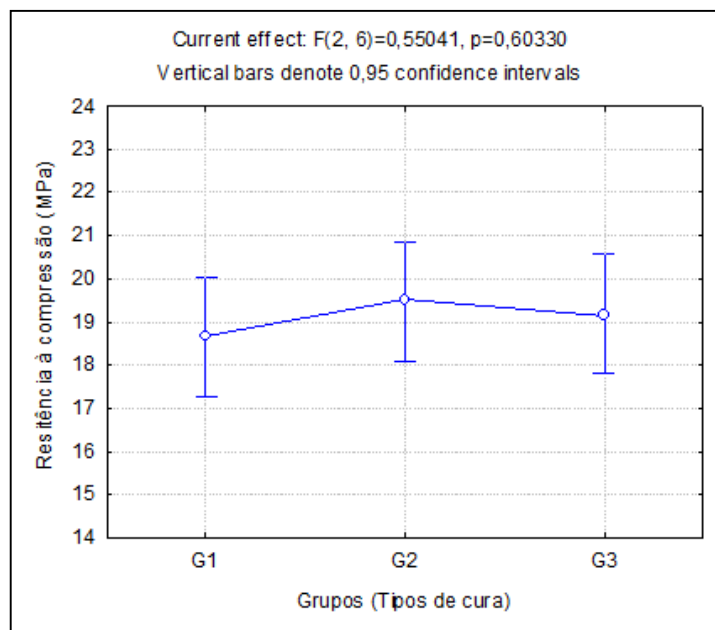
Fonte: Do Autor 2015.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Realizou-se uma análise estatística, através da metodologia análise de variância (ANOVA) a fim de se verificar a influência do tipo de cura nas variáveis respostas: resistência à compressão (f_c) (Figura 10), índice esclerométrico (I.E.) (Figura 11), cargas em L/250, carga de ruptura e o deslocamento na carga de ruptura obtidos no ensaio de flexão à quatro pontos. (Figura 12 e 13). Essa análise mostrou que os tipos de cura forneceram valores de resistência à compressão, índice esclerométrico,

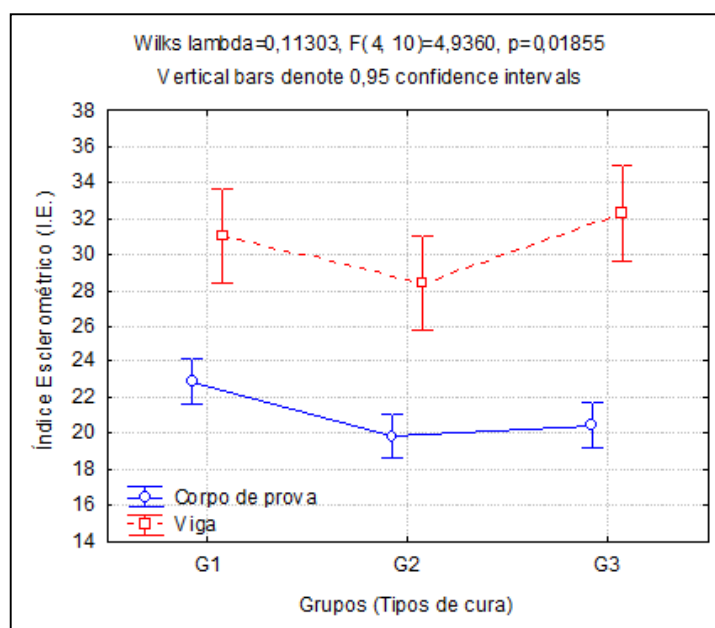
cargas e deslocamentos no ensaio de flexão estatisticamente iguais, com um nível de confiança de 95%.

Figura 10 - Resultados de resistência à compressão por grupo.



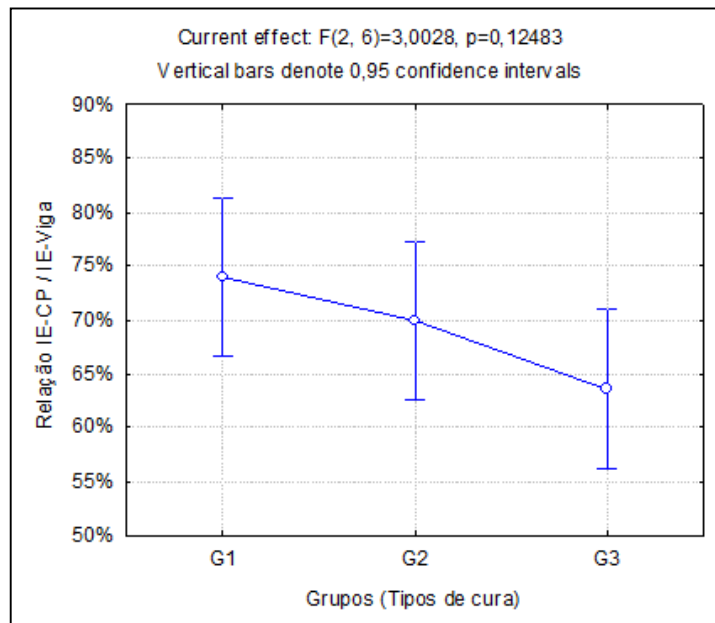
Fonte: Do Autor 2015.

Figura 11 - Resultados de índice esclerométrico por grupo.



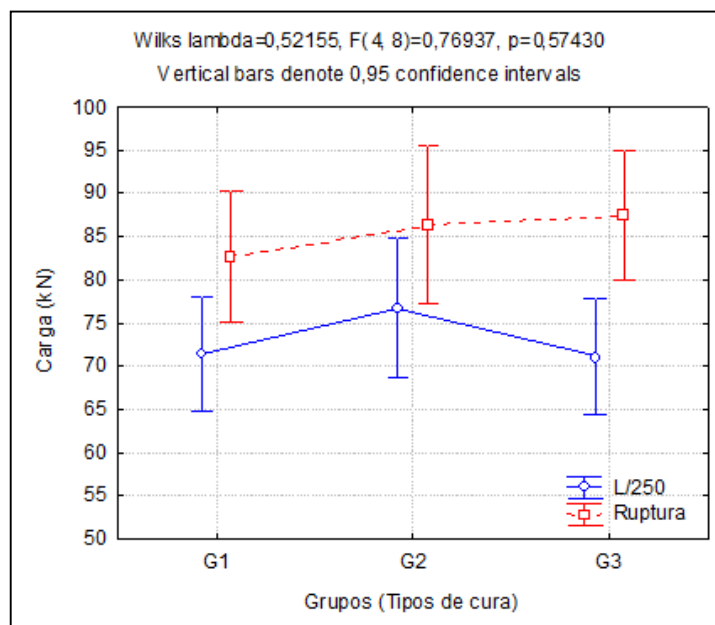
Fonte: Do Autor 2015.

Figura 12 - Resultados da relação entre os índices esclerométricos obtidos nos corpos de prova pelo obtidos nas vigas.



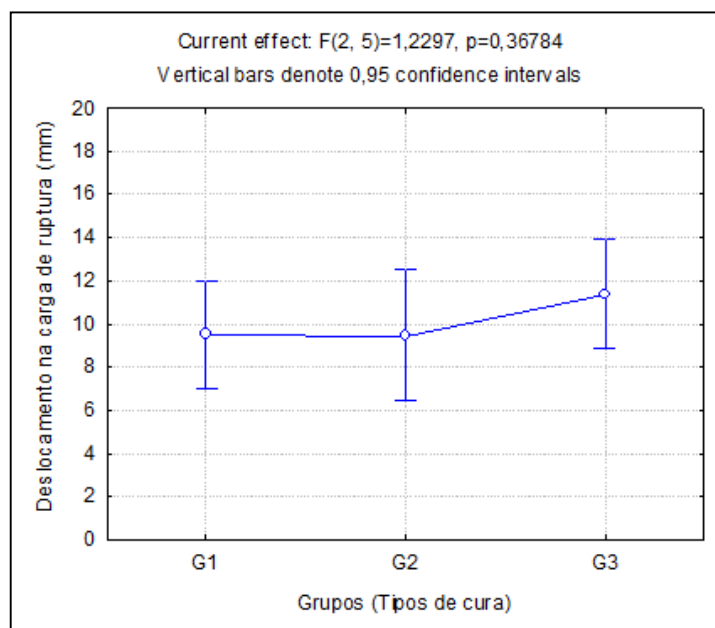
Fonte: Do Autor 2015.

Figura 13 - Resultados de carga de ruptura e carga em L/250 para cada grupo.



Fonte: Do Autor 2015.

Figura 14 – Resultados do deslocamento na ruptura.



Fonte: Do Autor 2015.

4 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram pouca influência entre os procedimentos de cura. Nos elementos submetidos a cura com aspersão e vedação e os com cura por agente químico, apresentaram um comportamento melhor em relação aos que não foram curados, 4% em média. Nas verificações, o estado limite ultimo de todos os grupos a capacidade de carga foi cerca de 45% maior que a calculada, demonstrando que os coeficientes de segurança, tendo em vista que os procedimentos de cura sejam executados conforme preferitos de norma, podem ser reduzidos. Os resultados obtidos podem ser evidenciados nos itens a seguir:

- Resistência à compressão

O grupo 1 apresentou resistência de 4,3% menor que o grupo 2 e 2,6% menor que o grupo 3.

- Índice Esclerométrico

A relação entre o I.E. dos corpos de prova e vigas está dentro do previsto.



Há uma diminuição do índice esclerométrico nos corpos de prova (CP) em relação às vigas, isto é, devido aos mesmos não apresentarem armadura no seu interior

- Capacidade de Carga

l/250 – O grupo 1 atingiu flecha máxima de norma com 7,0% menos carga que o grupo 2.

Ruptura – O grupo 1 atingiu a ruptura com 16,8% menos carga que o grupo 3.

- Flecha

Ruptura – Na ruptura a flecha foi tanto maior quanto foi à carga de ruptura dos grupos, logo a flecha do grupo 3 foi 16,8% maior que o grupo 1.

Porém após análise estatística ANOVA conclui-se que os procedimentos de cura, tem resultados estatisticamente iguais na capacidade de carga, no deslocamento (flecha) e no índice esclerométrico.

5 RECOMENDAÇÕES

A seguir algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Cura – deixar os elementos de referência expostos ao tempo para uma melhor comparação com a realidade;
- Cura química – aperfeiçoar os estudos com cura química no que se refere a aplicação de desmoldante e agente de cura;
- Fluência – estudar a influência da cura na deformação lenta;
- Esclerometria – fazer ensaios nas idades de 3, 7 e 28 dias para uma melhor análise do ganho de resistência superficial.



5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**: NBR 5738:2003. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**: NBR 5739:2007. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **Concreto – projeto de estruturas de concreto: Procedimento** NBR 6118:2014. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**: NBR 7584:2012. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **Execução de estruturas de concreto - procedimento**: NBR 14931:2004. Rio de Janeiro, 2012.

Bungey, John H.; MILLARD, Stephen G.; GRANTHAM, Michael G. **Testing of concreto in strutures**. Abingdon: Taylor & Francis (4ªed.), 2006, 19p.

METHA, Povinkar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI (3ªed.), 2008, 574p.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre: Globo (2ªed), 1998, 307p.

PFEIL, W. **Concreto protendido: Introdução**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (1ªed), 1984, 92.

RABAIOLLI, Douglas Trevelin. **Análise experimental da influência dos diferentes procedimentos de cura nas propriedades mecânicas de vigas de concreto armado**. Criciúma, 2012. 13p. Artigo – Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.